松墨天牛成虫雌雄体型差异及蛹和成虫大小与越冬幼虫体重的关系

郭雅琦[1,4], 辛玉翠[2,4], 陶 希[3], 鱼 欢[3], 刘柱东[4,*]

(1. 安徽大学生命科学学院, 合肥 230039; 2. 安徽大学健康学院, 合肥 230039; 3. 湖南农业大学植物保护学院, 长沙 410128; 4. 中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

摘要:【目的】本研究旨在明确松墨天牛 *Monochamus alteratus* 成虫及越冬幼虫体型大小的差异,探讨该虫越冬后成虫体型大小和越冬幼虫体重大小关系及原因。【方法】于 2014 年 5 月 1 日至 10 月 31 日在浙江富阳野外诱捕松墨天牛,通过测量野外诱捕到的松墨天牛成虫体长、体宽,确定林间松墨天牛成虫体型的差异;松墨天牛越冬幼虫的采集和称重测量明确越冬幼虫的组成和体重大小差异;进而通过对越冬幼虫单头跟踪饲养至化蛹、羽化,确定越冬幼虫体重大小与发育所得蛹和成虫大小的关系,阐明林间松墨天牛成虫体型差异的原因。【结果】浙江富阳野外诱捕发现,松墨天牛的活动期间很长,从 5 月中旬到 10 月初一直能诱捕到松墨天牛成虫,高峰期在 6 和 7 月份。松墨天牛雌雄成虫体型差异很大,雌虫平均体长和体宽分别为 20.59 ±0.19 和 6.59 ±0.06 mm;雄虫平均体长和体宽分别为 19.90 ±0.26 和 6.44 ±0.08 mm; 雌虫的平均体长明显高于雄虫,但二者体宽没有显著差异;并且雌雄成虫体长和体宽呈显著正相关。越冬幼虫的头宽测定表明头宽的变化很大,最小为 2.20 mm,最大为 4.24 mm,经比对越冬幼虫由 4 龄和 5 龄幼虫组成;幼虫体重差异大,平均体重为 304.2 mg, 介于 71.6 ~858.0 mg 之间,其中 5 龄越冬幼虫显著重于 4 龄越冬幼虫。进一步将越冬幼虫单管饲养跟踪研究发现,越冬幼虫体重大小决定蛹和羽化后的成虫的大小,二者存在显著的正相关,并且由 4 龄越冬幼虫发育所得的蛹和成虫显著轻于由 5 龄幼虫发育所得的蛹和成虫。【结论】松墨天牛成虫体型差异很大,这与越冬幼虫体重差异相关;越冬幼虫的体重大小决定了其化蛹后的蛹重和羽化后成虫的体型和体重的大小;造成越冬幼虫体重差异的可能原因包括松墨天牛成虫扬飞周期长导致的产卵期长而使得天牛发育进度不一致以及寄主不同部位营养的差异。

关键词: 松墨天牛; 成虫; 越冬幼虫; 体型; 体重; 回归分析

中图分类号: Q968 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2015)09-0989-08

Body size difference of male and female adults as well as the relationship between the sizes of pupae and adults and the body weight of overwintering larvae in the Japanese pine sawyer, *Monochamus alteratus* (Coleoptera: Cerambycidae)

GUO Ya-Qi[1,4], XIN Yu-Cui[2,4], TAO Xi[3], YU Huan[3], LIU Zhu-Dong[4,*] (1. School of Life Sciences, Anhui University, Hefei 230039, China; 2. Institute of Health Sciences, Anhui University, Hefei 230039, China; 3. College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 4. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: 【Aim】This study aims to determine the size variation of adults and the overwintering larvae of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*, and to explore the relationship of the body size of adults and the body weight of overwintering larvae of this species. 【Methods】Field trapping of *M. alternatus* adults was carried out from 1st May to 31st October in 2014 in forests of Changdong, Fuyang

基金项目: 国家"973"计划项目(2013CB127600); 北京市自然科学基金项目(6112019)

作者简介: 郭雅琦, 女, 1990 年 2 月生, 山东德州人, 硕士研究生, 研究方向为昆虫生态, E-mail: yaqi_ycyz@126.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: liuzd@ioz.ac.cn

收稿日期 Received: 2015-03-17; 接受日期 Accepted: 2015-06-23

County in Zhejiang Province, and the body length and width of adults trapped were measured with micrometer to determine the size variation. Overwintering larvae were collected also in Changdong forests in March 2014 and then taken back to the laboratory and reared with artificial diet until adult emergence, during which the weight and width of head capsule of larvae, pupal weight and adult size were recorded to analyze the relationship between the size variations of adults and the overwintering larvae. 【Results】 Trapped *M. alternatus* adults varied in body size. The body length and width of female adults averaged 20.59 ± 0.19 and 6.59 ± 0.06 mm, respectively, while those of male adults averaged 19.90 ± 0.26 and 6.44 ± 0.08 mm, respectively. Female adults were significantly longer than males. Furthermore, body length was significantly correlated with body width for both female and male adults. The investigation of overwintering larvae showed that *M. alternatus* larvae overwinter mainly at the 4th and 5th instar by measuring the width of head capsule, which ranged from 2.20 to 4.24 mm, and larval body size also varied, ranging from 71.6 to 858.0 mg with the average of 304.2 mg among which the 5th instar overwintering larvae was significantly heavier than the 4th instar overwintering larvae. Further analysis showed that the size of pupae and adults was determined by the size of overwintering larvae. Regression analysis showed that the pupal weight, adult weight, adult length, and adult width were significantly correlated with the overwintering larval weight, respectively. Pupae and adults reared from the 4th instar overwintering larvae were significantly lighter than those reared from the 5th instar overwintering larvae. 【Conclusion】 The body size of *M. alternatus* adults is quite varied, which is related to the size variation of overwintering larvae. Variation in larval size may be attributed to the long flight period of adults. Oviposition lasts the whole flight period, causing the difference in larval development time, and this difference as well as nutrition difference in different parts of host pine trees results in the variation in larval body size until overwintering.

Key words: *Monochamus alternatus*; adult; overwintering larvae; body size; body weight; regression analysis

松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 是引起松材线虫病(松树萎蔫病)的病原物。该病被称为松树的“癌症”,对松林可造成毁灭性的危害。松材线虫不能自行传播,必须借助媒介昆虫天牛进行传播扩散(Linit, 1989)。松材线虫原产于北美地区,由卡墨天牛 *Monochamus carolinensis* 携带传播扩散(Linit, 1989),然后传播到日本、中国、韩国、墨西哥和葡萄牙等地(Steiner and Buhrer, 1934; Nickle, 1970; Sun, 2005)。松材线虫侵染感病的松树,在其上完成生活史,4 龄幼虫能分化成繁殖型或扩散型。当食物和含水量充足时,松材线虫蜕皮为成虫,并通过分化成繁殖型来快速繁殖(Wingfield, 1983)。扩散型幼虫分为 3 龄和 4 龄,扩散型 3 龄幼虫在天牛蛹的刺激下发育成扩散型 4 龄幼虫(MAmiya, 1972; Linit, 1988; Zhao *et al*. 2013)。扩散型 4 龄幼虫通过外露在天牛体上的气门进入并附着在新羽化天牛成虫的气管中,松材线虫通过天牛成虫在健康松树上补充营养时咬食的伤口、或是在被害木上产卵时由成虫咬啮的产卵刻槽伤口进入松树体内,从而随天牛进行传播(Linit, 1988)。由此可见,松材线虫的转型和扩散与天牛密切相关,要防治松材线虫,首要任务就是防治好其传媒昆虫——天牛。

松墨天牛 *Monochamus alteratus* 是松材线虫在中国和日本地区最重要的传播媒介昆虫(Mamiya and Enda, 1972; Linit *et al*., 1983; Togashi, 1989),别称松褐天牛,属鞘翅目天牛科(Cerambycidae)沟胫天牛亚科(Laminae)墨天牛属。该昆虫在国内分布于河北以南,西藏以东;南至广东,东至台湾,国外分布于日本、朝鲜、老挝、越南等国(杨宝君等, 2003),其寄主有马尾松、湿地松、卡锡松、黑松、云南松等,也可为害雪松、冷杉、云杉和落叶松(赵锦年和应杰, 1989)。主要是危害衰弱木、濒死木和新伐倒木,特别是受松毛虫严重危害的林分,受害最重。松墨天牛幼虫蛀食树干和大枝条的韧皮部及木质部,破坏组织,影响水分、养分运输,严重危害松树生长(赵锦年和应杰, 1989)。我国于 1982 年在南京中山陵的黑松上首次发现松材线虫后(杨宝君等, 2003),陆续对松墨天牛开展了生物学的研究,探讨了松墨天牛的取食、幼虫的分布、生活史特征和龄期的问题(赵锦年和应杰, 1989; 陈顺立等, 2001; 周成枚等, 2002; 柳建定等, 2012; 孟俊国等, 2012; 樊建庭等, 2014)。当前,对松材线虫的防治除主要通过林间大规模诱杀其宿主松墨天牛外,没有其他更好的方法。

作者通过采集浙江富阳越冬幼虫通过室内饲养发现，羽化后的松墨天牛成虫体型大小差异悬殊，达1 倍左右。作者以松墨天牛成虫体型差异为切入点，在浙江富阳进行野外验证，进而探讨成虫体型差异与越冬幼虫体重大小的关系。浙江富阳松墨天牛发生情况尚未见文献报道，具体不清楚发生代数。以往资料记载此虫一年发生 1 代，被证实在广东一年可发生 2 代，粤北山区一年 1 代（宋士涵等，1991），据此推测江浙一带松墨天牛一年发生 1 代。为此，本研究开展了松墨天牛野外种群个体体型大小的调查，确定松墨天牛体型大小的差异；进而通过室内饲养，分析了松墨天牛成虫体重体型、越冬幼虫体重大小，证实了成虫体型的差异与越冬幼虫体重大小的关系，加深了对松墨天牛生物学知识的了解，为松墨天牛的防治时间和防治方法提供了基础理论支持；同时，分析了松墨天牛生物学未来可能的研究方向。

1　材料和方法

1.1　松墨天牛成虫的野外诱捕和成虫体型大小的测定

于 2014 年 5 月 1 日开始至 2014 年 10 月 31 日，在浙江富阳昌东村山上的树林（含有马尾松的混交林）里挂置诱捕松墨天牛的 BF-1 型诱捕器（10 个）进行野外诱捕，诱剂采用浙江农林大学樊建庭博士团队研发的产品松墨天牛性引诱剂 F1。诱捕器挂置后，每 3 d 上山收集一次松墨天牛成虫，统计诱捕总数，然后带回室内，用游标卡尺（申工，精度 0.02 mm）测定每头诱捕到的松墨天牛成虫的体长和体宽，确定其体型大小。确保诱捕效果的长效性，松墨天牛性引诱剂 F1 每 2 个月更换一次。

1.2　松墨天牛越冬幼虫的野外采集及体重和体型的测定

越冬幼虫于 2014 年 3 月采集于浙江富阳昌东村。将被危害的松树伐倒带回实验基地，用斧头剖出天牛个体，带回实验室每头编号，用测微尺测量幼虫的头宽，然后用万分之一精度的电子天平［梅特勒-托利多（上海）有限公司，0.0001 g］称重，确定越冬幼虫的龄期结构，分析幼虫体重与幼虫头宽的关系。称重后的天牛幼虫置于 10 mL 的塑料离心管单管饲养，喂食马尾松锯末粉为主的半人工饲料。

1.3　越冬幼虫体重与蛹和成虫体重和体型的关系

将编号、测量和称重后的单管饲养的越冬幼虫放置在 4℃ 的冰箱中继续模拟野外越冬。直到 5 月，越冬幼虫取出置于 27℃ 的人工气候箱（无光照），每日观察天牛幼虫化蛹和羽化情况，并于化蛹和羽化后第 2 天称量蛹重和成虫体重。成虫羽化后，喂食新鲜的松枝，5 d 后测量天牛成虫的体长和体宽。分析天牛蛹重和成虫大小（体重和体型）与越冬幼虫体重大小的关系。

1.4　数据分析

所有数据用 SPSS18.0 软件分析，运用单因素方差分析比较野外诱捕天牛成虫雌雄间体型大小和 4 龄 5 龄幼虫的体重及发育所得的蛹和成虫的体重和体型的差异，成虫体长和体宽、幼虫大小与蛹重和成虫大小的关系采用线性回归分析，同时用 EXCEL 软件绘制图形。

2　结果

2.1　松墨天牛成虫的杨飞动态及雌雄体型大小差异

在 5 月至 10 月期间内，在富阳共诱捕到松墨天牛成虫 754 头，5 月 16 日才开始诱捕到松墨天牛成虫，一直持续到 10 月 7 日，其中 6 和 7 月松墨天牛成虫的诱捕量最高，7 月份以后诱捕量逐月减少，10 月基本上不能再诱捕到天牛成虫（图 1）。诱捕到的松墨天牛成虫体型大小差异悬殊（图 2 ：A ~ D）。经测定，雌虫平均体长和体宽分别为 20.59 ± 0.19 和 6.59 ± 0.06 mm；雄虫平均体长和体宽分别为 19.90 ± 0.26 和 6.44 ± 0.08 mm；并且雌雄成虫体长和体宽都呈显著正相关（图 2：E，雌 $y = 2.9301x + 1.268$，$F = 1\,273.604$，$P < 0.0001$；图 2：F，雄 $y = 3.0043x + 0.5254$，$F = 620.627$，$P < 0.0001$）。进一步比较雌雄体型大小的差异，发现松墨天牛雌成虫体长显著比雄成虫长（$F_{1,260} = 4.845$，$P = 0.029$），而体宽没有显著差别（$F_{1,260} = 2.153$，$P = 0.144$）（图 3）。

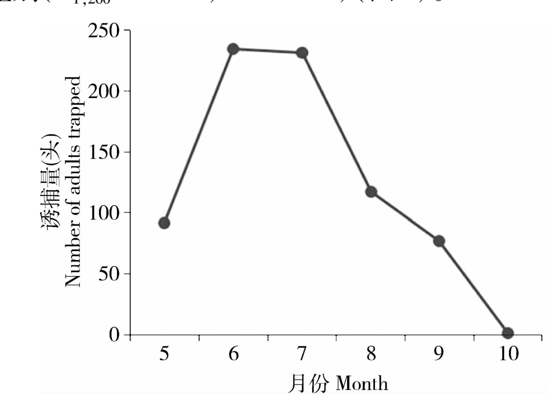


图 1　松墨天牛成虫的扬飞动态（浙江富阳，2014）

Fig. 1　Flight period dynamics of *Monochamus alteratus* adults (Fuyang, Zhejiang, 2014)

图 2 松墨天牛雌雄成虫体长和体宽及二者间的关系

Fig. 2 Body length and body width of *Monochamus alternatus* adults and their relationship

A, B: 分别为雌性成虫和雄性成虫体长的分布 Distribution of body length of female and male adults, respectively; C, D: 分别为雌性成虫和雄性成虫体宽的分布 Distribution of body width of female and male adults, respectively; E, F: 分别为雌性成虫和雄性成虫体长和体宽的关系 Regression between body length and body width of female and male adults, respectively.

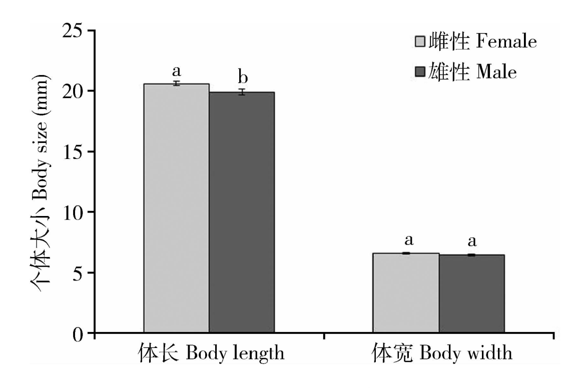


图 3 松墨天牛雌雄成虫体型的比较

Fig. 3 Comparison of body length and width between female and male adults of *Monochamus alternatus*

柱上不同字母表示同一指标雌雄间差异显著($P<0.05$, One way-ANOVA)。Different letters on the error bar indicate significant differences between female and male in the same index ($P<0.05$, One-way ANOVA).

2.2 松墨天牛越冬幼虫的体型及体重大小分布

通过对越冬幼虫的体型大小调查,发现越冬幼虫大小差异(幼虫头宽和体重)也很大。其中松墨天牛幼虫头宽介于 2.20 ~ 4.24 mm(图 4);结合前人对松墨天牛幼虫头壳宽度划分为 5 龄期,松墨天牛越冬幼虫主要为 4 龄和 5 龄幼虫。从重量来看,越冬幼虫平均体重为 304.2 mg, 介于 71.6 ~ 858.0 mg 之间(图 5: A),并且越冬幼虫体重和幼虫头宽存在指数关系,头宽越大体重越重($y=20.469e^{0.8523x}$, $R^2=0.6493$, $F=712.944$, $P<0.0001$)(图 5: B),其中 4 龄越冬幼虫体重显著轻于 5 龄越冬幼虫($F_{1,371}=226.45$, $P<0.0001$)(图 5: C)。

2.3 越冬幼虫体重与蛹和成虫体重和体型大小的关系

通过对野外采集的越冬幼虫单管饲养发现,越

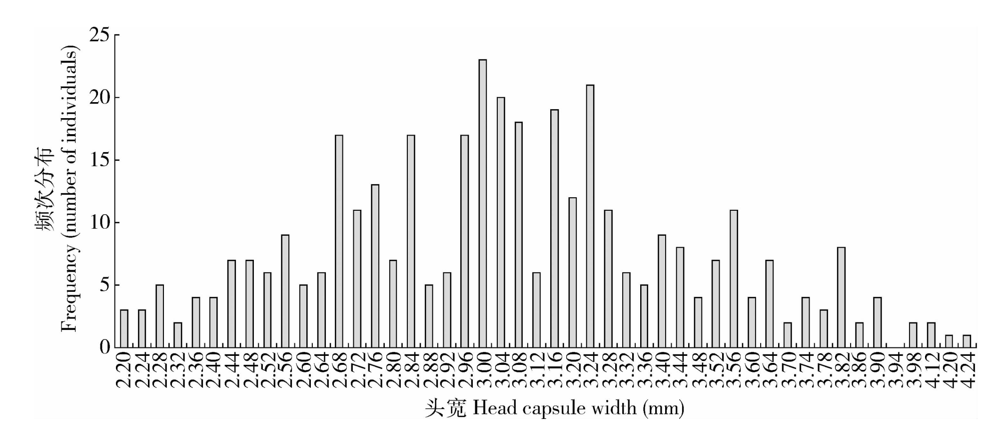


图 4　松墨天牛越冬幼虫头宽频次分布

Fig. 4　Frequency distribution of head capsule width of overwintering larvae of *Monochamus alternatus*

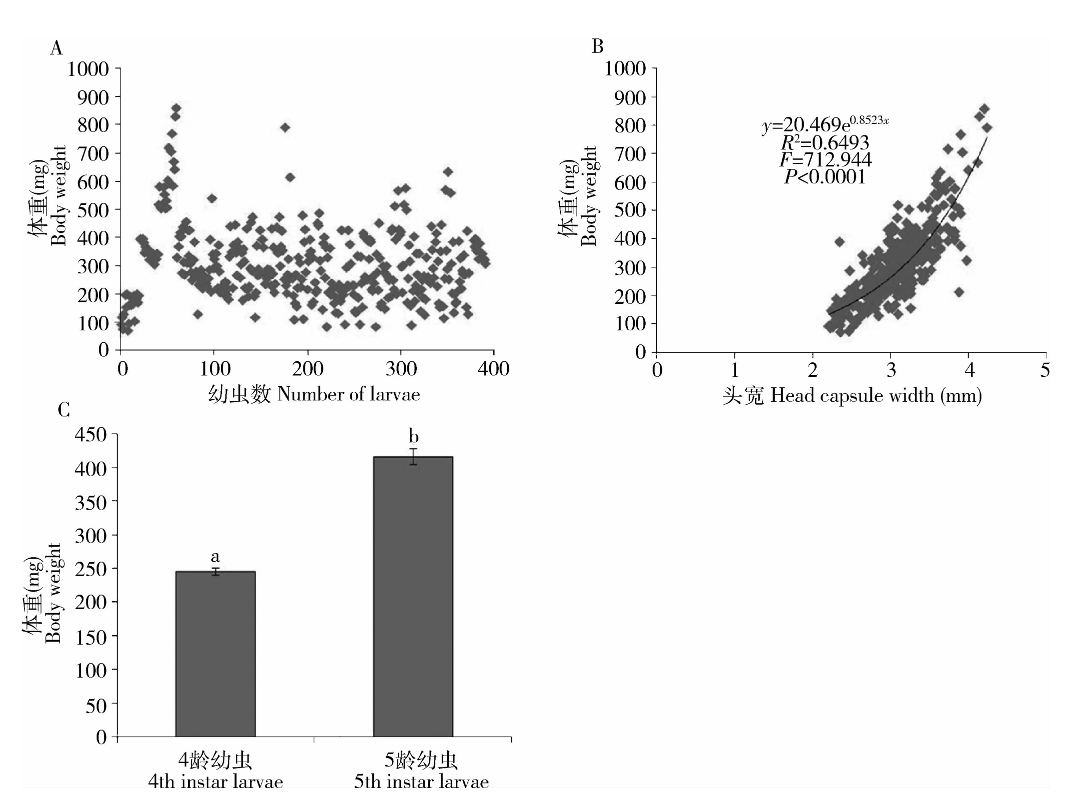


图 5　松墨天牛越冬幼虫体重分布(A)、体重与头宽的关系(B)及 4 龄和 5 龄幼虫体重(C)比较

Fig. 5　Body weight (A), and the relationship between body weight and head capsule width (B) of overwintering larvae of *Monochamus alternatus*, and the comparison of body weight between the 4th and 5th instar larvae (C)

柱上不同字母表示差异显著($P < 0.05$, One way-ANOVA)。Different letters on the error bar indicate significant differences between female and male ($P < 0.05$, One-way ANOVA).

冬 4 龄和 5 龄幼虫均能化蛹羽化成成虫。依据其蛹重、成虫体重、成虫体长和体宽指标,结合前期越冬幼虫的体重,进行回归分析发现,蛹重与其越冬幼虫体重呈显著的正相关(图6：A, $y = 0.7683x + 27.422$, $F = 924.665$, $P < 0.0001$),越冬幼虫体重决定羽化后成虫体型的大小(图 6：B, 成虫重 $y = 0.7048x + 21.031$, $F = 226.296$, $P < 0.0001$;图 6：C, 成虫体长 $y = 0.0163x + 11.824$, $F = 916.043$, $P < 0.0001$;图 6：D, 成虫体宽 $y = 0.0055x + 3.4086$, $F = 468.746$, $P < 0.0001$),羽化后成虫体重、体长和体宽均和采集时越冬幼虫的体重呈线性关系,说明越冬幼虫的体型大小决定了越冬后的成虫的体型大小。进一步分析表明,由 4 龄幼虫所得的蛹和成虫分别显著轻于由 5 龄幼虫所得的蛹和成虫(图7, 蛹 $F_{1,171} = 109.865$, $P < 0.0001$;成虫 $F_{1,123} = 66.494$, $P < 0.0001$)。

A
蛹重 Pupal weight (mg)
y=0.7683x+27.422
R^2=0.8877
F=924.665
P<0.0001

C
成虫体长 Adult length (mm)
y=0.0163x+11.824
R^2=0.8791
F=916.043
P<0.0001

B
成虫体重 Adult weight (mg)
y=0.7048x+21.031
R^2=0.8911
F=226.296
P<0.0001
越冬幼虫体重 (mg)
Body weight of overwintering larvae

D
成虫体宽 Adult width (mm)
y=0.0055x+3.4086
R^2=0.7881
F=468.746
P<0.0001
越冬幼虫体重 (mg)
Body weight of overwintering larvae

图 6　松墨天牛越冬幼虫体重与发育所得蛹和成虫大小的关系

Fig. 6　Relationship between body weight of overwintering larvae and the sizes of developed pupae and adults of *Monochamus alternatus*

A, B: 分别表示松墨天牛蛹重和成虫重与越冬幼虫体重的关系 Relationship of pupal and adult weight and their overwintering larval weight, respectively; C, D: 分别表示成虫体长和体宽与越冬幼虫体重的关系 Relationship of adult length and width and the weight of overwintering larvae, respectively.

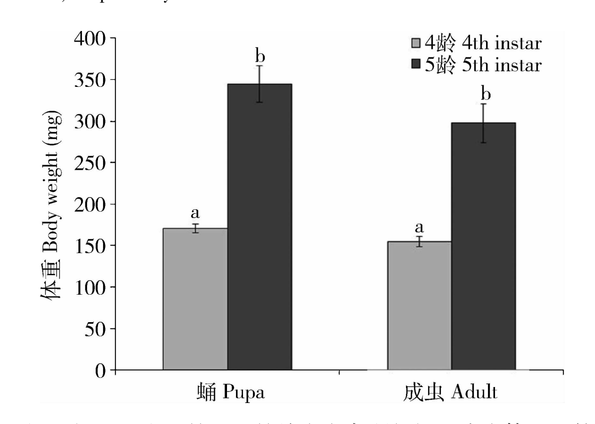


图7　松墨天牛 4 龄和 5 龄幼虫发育所得蛹和成虫体重比较

Fig. 7　Comparison of pupal and adult weight reared from the 4th and 5th instar overwintering larvae of *Monochamus alternatus*

柱上不同字母表示当 $P<0.05$ 时差异显著(One way-ANOVA)。Different letters on the error bar indicate significant differences between female and male at $P<0.05$ (One-way ANOVA).

3　讨论

3.1　松墨天牛成虫扬飞期

调查发现,松墨天牛成虫的扬飞活动时间持续时间很长,一直从 5 月 16 日到 10 月 7 日,但扬飞的高峰期在 6 月和 7 月,高峰期的诱捕量占全年总诱捕量的 62%。尽管松墨天牛成虫的寿命长,平均寿命长达 2 个月(宋士涵等, 1991; 贺长洋等, 1998),该虫在浙江富阳的诱捕动态在一定程度上反映了松墨天牛的羽化动态;并且,从诱捕动态可以看出,浙江富阳地区松墨天牛一年发生 1 代。天牛扬飞期很长,可能一是因为天牛成虫陆续羽化,发生不整齐,我们有这方面的数据支持。我们在室内模拟研究天牛幼虫化蛹时,发现越冬后天牛幼虫化蛹的时间不一致,平均达 1 个月,从 1 ~ 65 d 不等,而蛹期则一致为 10 d 左右(未发表数据)。另一个原因可能是成虫在林间存活寿命较长,据文献报道,松墨天牛的成虫的寿命也很长,平均寿命近两个月,最长可达 90 多天(宋士涵等, 1991; 贺长洋等, 1998; 司徒春南等,2012)。目前尚无法确定松墨天牛诱芯是否对补充营养前后的天牛成虫诱捕效果存在差异,但可以肯定目前的诱捕动态反映了浙江富阳松墨天牛种群发生动态,即一年 1 代。由于松墨天牛是松材线虫的主要媒介昆虫,现阶段对松材线虫没有有效

的防治方法，只能最大限度地诱杀其媒介昆虫松墨天牛。因此，松墨天牛的诱杀不能只局限在松墨天牛的扬飞高峰期，而应在整个 5 –9 月进行长期诱杀，以降低天牛的种群密度。此外，松墨天牛的成虫的寿命很长，并且寿命越长产卵越大（贺长洋等，1998；司徒春南等，2012），所以该虫的初产卵和低龄幼虫可贯穿 5 –9 月可为利用松墨天牛的寄生性天敌管氏肿腿蜂防治天牛提供了窗口。我们已有研究表明管氏肿腿蜂是松墨天牛较好的生物防治因子（Li *et al*., 2010；Liu *et al*., 2011），对低龄幼虫寄生效率更高。为有效地降低松墨天牛的种群数量，控制松材线虫病的危害，在大量诱杀成虫并减少后代幼虫的数量的同时，在 6 –10 月期间，可利用管氏肿腿蜂寄生松墨天牛进一步降低天牛幼虫的数量，实现对松材线虫病的有效控制。

3.2　松墨天牛成虫大小差异

动物界大小普遍存在差异，体型大对繁殖后代可能更有利（Wyman *et al*., 2008；Mhatre *et al*., 2012；Wilkins *et al*., 2013）。松墨天牛成虫体型差异变化很大，最大相差 1 倍。天牛体型差异是否会影响其交配、产卵及存活有待进一步研究证实。此外，对造成松墨天牛成虫体型大小差异的分析发现，越冬幼虫的体重与化蛹后的蛹重、继而羽化后的成虫重呈显著的正相关，说明越冬幼虫体型大小决定了蛹的体型大小，这就意味着越冬幼虫在越冬后可能不再取食生长而是直接化蛹羽化以至于体重不再增加。并且，在对浙江富阳越冬后幼虫系统饲养和观察过程中，我们也发现松墨天牛幼虫无需取食而直接化蛹。在我们对越冬幼虫的系统观察中，194 头化蛹，追溯这 194 头化蛹的越冬幼虫时发现其中 4 龄幼虫也化蛹了，而不是进一步发育到 5 龄幼虫。此外，我们还在浙江余姚种群和江苏南京种群中也发现了松墨天牛 4 龄幼虫越冬后直接化蛹的现象。松墨天牛 4 龄幼虫体型一般较小，化蛹及进而羽化后的成虫也相应较小，从而导致松墨天牛成虫体型大小差异大。是否越冬时的低温刺激 4 龄幼虫提前化蛹，还有待进一步研究证实。

3.3　松墨天牛越冬幼虫的及对来年种群动态的贡献

松褐天牛幼虫蛀入松树树干危害，隐蔽性强，其生物学及行为学的研究相对较少，诸多问题，如幼虫龄级、龄期、越冬幼虫龄级结构等研究尚不明晰。通过本研究，我们调查了越冬幼虫的大小，从体重和头宽 2 个指标来看，幼虫大小差异显著，也基本摸清了松墨天牛越冬的虫龄分布。

是什么原因造成越冬幼虫大小差异悬殊？前面讨论了松墨天牛成虫扬飞时间长，从 5 月一直持续到 9 月，加之松墨天牛的产卵时间也长（司徒春南等，2012），导致在生长季节早期产的卵率先生长发育，而在生长季节后期产的卵后生长发育，使得越冬前幼虫的生长发育时间不一样从而导致在越冬阶段幼虫大小不一样。另外，松墨天牛幼虫在不同的部位取食，可能也会造成体型大小的差异。据文献报道，松墨天牛在松树上的分布随着树体高度的增加呈“钟形”分布，主要集中在寄主的中部（孟俊国等，2012）。寄主不同部位营养可能存在差异，从而可能影响天牛幼虫的大小，这有待进一步研究证实。

从本项研究来看，可以明确的是，松墨天牛幼虫越冬不只是老熟幼虫。参照柳建定等（2012）的研究，将松墨天牛幼虫分为 5 龄。我们的一项研究对松墨天牛各发育时期系统取样，也证实松墨天牛有 5 个龄期，其中 4 龄幼虫头宽范围为 2.2 ~3.0 mm，5 龄幼虫头宽范围为 3.0 ~4.5 mm。依据越冬幼虫的头宽，富阳 2013 年越冬幼虫应为 4 龄和 5 龄幼虫，从而明确了越冬种群的虫龄结构。尽管松墨天牛以 4 龄和 5 龄幼虫越冬，其体型大小差异很大，但不影响来年春天的化蛹羽化与物候同步进入下一个生命周期。我们发现松墨天牛越冬 5 龄幼虫能正常化蛹，而 4 龄幼虫则能不经历 5 龄提前化蛹。鉴于 4 龄幼虫体型小，发育到成虫的体型也对应的显小，其后续的适合度也会相应的受影响。在个体的适合度受到影响的前提下，松墨天牛种群为何还形成了 4 龄幼虫提前化蛹的现象？目前，我们团队正在从生态和生理上研究探讨其生态和生理机制。

通过本研究，可以明确：（1）松墨天牛成虫大小差异很大，其大小是由越冬幼虫的大小决定的；（2）越冬幼虫大小差异也很大，可能是由于松墨天牛的成虫活动期持续时间长而持续产卵导致幼虫发育时间差异大及寄主不同部位的营养差异共同作用的结果，还有待进一步研究证实；（3）发现松墨天牛 4 龄幼虫越冬后能直接化蛹，其生态和内在的生理机制将是未来研究的方向，将为松墨天牛的治理提供新思路。

参考文献（References）

Chen SL, Wang LP, Huang JC, Yu PW, Cheng B, 2001. Study on the vertical distribution of *Monochamus alternatus* Hope larvae on *Pinus massoniana*. *J. Fujian Coll. For*., 21(4): 297-300.［陈顺立，王玲萍，黄金聪，余培旺，程保，2001. 松墨天牛幼虫在马尾松树上垂直分布的研究. 福建林学院学报，21(4)：297 –300］

Fan JT, Zhang DY, Zhang ZP, Meng JG, Wang YP, 2014. Feeding behavior of *Monochamus alternatus* and its relationship with the host volatiles. *J. Zhejiang For. Sci.*, 31(1): 78-82. [樊建庭, 张东勇, 章祖平, 孟俊国, 王义平, 2014. 松墨天牛取食行为及其与寄主挥发物的关系. 浙江农林大学学报, 31(1): 78-82]

He CY, Sun YQ, Song SY, Zhu EW, Li HM, 1998. The observation of biology of *Monochamus alternatus*. *Shangdong For. Sci. Tech.*, 115(2): 32-33. [贺长洋, 孙友庆, 宋绍义, 祝恩伟, 李洪敏, 1998. 松墨天牛生物学特性的观察. 山东林业科技, 115(2): 32-33]

Li L, Wei W, Liu ZD, Sun JH, 2010. Host adaptation of a gregarious parasitoid *Sclerodermus harmandi* in artificial rearing. *BioControl*, 55: 465-472.

Linit MJ, 1988. Nematode-vector relationships in the pine wilt disease system. *J. Nematol.*, 20: 227-235.

Linit MJ, 1989. Temporal pattern of pinewood nematode exit from the insect vector *Monochamus carolinensis*. *J. Nematol.*, 21: 105-107.

Linit MJ, Kondo E, Smith MT, 1983. Insects associated with the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae), in Missouri. *Environ. Entomol.*, 12: 467-470.

Liu JD, Li BW, Wang JY, Zhao BA, Shu JP, 2008. Primary study on methods to determine instars of *Monochamus alternatus* larva. *J. Zhejiang For. Sci.*, 28(4): 84-86. [柳建定, 李百万, 王菊英, 赵宝安, 舒金平, 2012. 松褐天牛龄级划分方法初探. 浙江林业科技, 28(4): 84-86]

Liu ZD, Xu BB, Li L, Sun JH, 2011. Host-size mediated trade-off in a parasitoid *Sclerodermus harmandi*. *PLoS ONE*, 6(7): e23260.

Mamiya Y, 1972. Aggregation of the pinewood nematode around the pupal chamber of the vector beetle. *Transactions of the Annual Meeting Kanto Branch of Japanese Forestry Society*, 24: 33.

Mamiya Y, Enda N, 1972. Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoididae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Nematologica*, 18(2): 159-162.

Meng JG, Liu B, Xu HC, Fan JT, 2012. Study on distribution of *Monochamus alternatus* larvae on *Pinus massoniana*. *J. Zhejiang For. Sci.*, 32(2): 41-44. [孟俊国, 刘博, 徐华潮, 樊建庭, 2012. 松墨天牛幼虫在马尾松上色分布规律研究. 浙江林业科技, 32(2): 41-44]

Mhatre N, Montealegre ZF, Balakrishnan R, Robert D, 2012. Changing resonator geometry to boost sound power decouples size and song frequency in a small insect. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 109(22): E1444-E1452.

Nickle WR, 1970. A taxonomic review of the genera of the Aphelenchoidea (Fuchs, 1937) Thorne, 1949 (Nematoda: Tylenchida). *J. Nematol.*, 2: 375-392.

Situ CN, Wang J, Fu FY, 2012. Study on population dynamics of *Monochamus alternatus*. *Jiangsu Agr. Sci. Tech.*, 40(6): 110-111. [司徒春南, 王健, 付甫永, 2012. 松墨天牛种群动态研究. 江苏农业科技, 40(6): 110-111]

Song SH, Zhang LQ, Huang HH, Cui XM, 1991. Preliminary study on biology of the Japanese pine sawyer *Monochamus alternatus*. *For. Sci. Tech.*, (6): 9-13. [宋士涵, 张连芹, 黄焕华, 崔锡明, 1991. 松墨天牛生物学的初步研究. 林业科技通讯, (6): 9-13]

Steiner G, Buhrer EM, 1934. *Aphelenchoides xylophilus*, n. sp., a nematode associated with blue-stain and other fungi in timber. *J. Agric. Res.*, 48: 949-951.

Sun JH, 2005. Forest invasive species: country report - P. R. China. In: Philip M, Sun JH, Wu J eds. The Unwelcome Guests. Proceedings of Asia-Pacific Forest Invasive Species Conference. FAO Regional Office for Asia and Pacific, Thailand. 80-86.

Togashi K, 1989. Factors affecting the number of *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) carried by newly emerged adults of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 24(4): 379-386.

Wilkins MR, Seddon N, Safran RJ, 2013. Evolutionary divergence in acoustic signals: causes and consequences. *Trends Ecol. Evol.*, 28: 156-166.

Wingfield MJ, 1983. Transmission of pinewood nematode to cut timber and girdled tree. *Plant Disease*, 67: 35-37.

Wyman MT, Mooring MS, McCowan B, Penedo MCT, Hart LA, 2008. Amplitude of bison bellows reflects male quality, physical condition and motivation. *Anim. Behav.*, 76: 1625-1639.

Yang BJ, Pan HY, Tang J, Wang YY, Wang LF, 2003. Pine Nematode Disease. China Forestry Publishing House, Beijing. 61-62. [杨宝君, 潘宏阳, 汤坚, 王玉燕, 汪来发, 2003. 松材线虫病. 北京: 中国林业出版社. 61-62]

Zhao JN, Ying J, 1989. The relationship between *Monochamus alternatus* feeding and death of pine trees. *Scientia Silvae Sinica*, 25(5): 432-438. [赵锦年, 应杰, 1989. 松墨天牛取食为害与松树枯死关系的研究. 林业科学, 25(5): 432-438]

Zhao LL, Lu M, Niu HT, Fang GF, Zhang S, Sun JH, 2013. A native fungal symbiont facilitates the prevalence and development of an invasive pathogen-native vector symbiosis. *Ecology*, 91: 2817-2826.

Zhou CM, Jiang YY, Xiao LY, Lu G, 2002. Study on population dynamics of *Monochamus alternatus* in dead pine tree. *J. Zhejiang For. Sci.*, 22(2): 18-21. [周成枚, 蒋莹莹, 肖灵亚, 陆高, 2002. 松褐天牛在松树枯死木枝干中种群动态研究. 浙江林业科技, 22(4): 18-21]

(责任编辑: 赵利辉)